

FDO
17.II.82

UTILISATION DE LANDSAT POUR L'INVENTAIRE ET LA CARTOGRAPHIE DE L'UTILISATION DU SOL
ET L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE - PRINCIPALES EXPERIMENTATIONS MENEES PAR L'OPIT
(OPERATION PILOTE INTERMINISTERIELLE DE TELEDETECTION - FRANCE)

Marc Bied-Charreton

OPERATION PILOTE INTERMINISTERIELLE DE TELEDETECTION

Cette communication porte sur l'OPIT et ses principales expérimentations. L'OPIT a été créée en 76 par les Ministères de l'Agriculture, de l'Equipement, de l'Environnement, la DATAR et la DGRST. Son objectif est de rendre opérationnel le recours à la Télédétection pour les besoins de ces administrations. Son programme comporte des actions de formation, de bilan des connaissances, d'inventaire des besoins et d'optimisation par des expérimentations. Celles-ci sont axées en 77 sur le traitement numérique des données Landsat (supervisé, non supervisé) en zone méditerranéenne (utilisation du sol, zones humides, feux de forêts), en moyenne montagne (forêt Vosges-Vivarais), équilibre agrosylvo-pastoral (Limousin), en zone de polyculture (Val de Loire). Des résultats méthodologiques sont acquis et certains thèmes mis en évidence dans des limites de fiabilité en cours de définition.

OPIT - utilisateurs - supervisé - non supervisé - utilisation du sol - zones humides - feux de forêts

1 - PRESENTATION DE L'OPIT

L'Opération Pilote Interministérielle de Télédétection (OPIT) est née en juillet 1976 à la suite d'un constat : une nouvelle technique existe : la télédétection. Celle-ci a pris un essor important à la suite du développement de capteurs enregistrant le rayonnement électromagnétique dans différentes bandes de longueurs d'onde et de vecteurs tels que les satellites d'observation de la terre de la série Landsat et les futurs satellites. Actuellement, les techniques "amont" de la chaîne de télédétection sont plus avancées que les techniques "aval". Mais la télédétection doit être considérée comme un système complet comprenant l'acquisition des données (capteurs, vecteurs, télémesure, segments sol), leur mise au format, leur prétraitement puis leur traitement (photographique et numérique) et enfin, l'interprétation des résultats. C'est pour rendre possible l'utilisation de la télédétection dans les meilleures conditions que cinq ministères français ont regroupé leurs moyens en juillet 1976 au sein de l'OPIT : il s'agit de préparer l'utilisation de ces données plutôt que de les subir un jour ou l'autre.

Les cinq membres de l'OPIT sont :

- le Ministère de l'Agriculture
- le Ministère de l'Equipement et de l'Aménagement du Territoire
- le Ministère de la Culture et de l'Environnement
- la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale (DATAR)
- la Délégation Régionale à la Recherche Scientifique et Technique (DGRST)

L'objectif est de rendre opérationnel le recours à la télédétection pour les besoins de ces administrations. Il comporte trois volets :

- démontrer la faisabilité des systèmes actuels
- simuler la génération des moyens futurs
- définir les spécifications d'un système en mettant au point un outil et des méthodes opérationnels pour les années 80.

Concrètement, le programme OPIT est orienté dans les directions et les actions suivantes :

- formation, information, sensibilisation des personnels des ministères membres
- bilan des connaissances dans les domaines techniques et les domaines des applications : utilisation et aménagement de l'espace, aménagement et urbanisme, agriculture, forêts-écosystèmes, environnement-pollution, gestion des ressources en eau.

Domaines techniques : physique du rayonnement, interaction rayonnement matière, saisie des données, traitements optique et numérique.

- inventaire des besoins et transcription en terme de télédétection.
- action d'optimisation des systèmes actuels par un programme d'expérimentation et un logiciel d'évaluation des résultats, de comparaison des méthodes et de développement et d'essais d'algorithmes.

2 - LE PROGRAMME D'EXPERIMENTATION DE L'OPIT

2.1. Buts

L'OPIT a entrepris dans le courant de l'année 1977 un programme d'expérimentation qui répond à plusieurs objectifs :

2.1.1. Tenter de répondre, grâce à l'utilisation de la télédétection, à des besoins actuellement formulés par les administrations membres de l'OPIT.

Proceedings of an International Conference on Earth Observation from Space and Management of Planetary Resources, held at Toulouse, 6-11 March 1978 - (ESA SP-134).

19 MARS 1985

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 17.602

Cpte : B

B17.602

2.1.2. Associer dès à présent les futurs utilisateurs, tant aux échelons centraux, régionaux que départementaux, à la définition des objectifs des expérimentaux, à l'interprétation et à l'évaluation des résultats : par là même, préciser les besoins des administrations et participer à la formation des futurs utilisateurs.

2.1.3. Tester les systèmes actuels, à savoir :

- . les données : on s'est axé principalement sur les données Landsat étant donné le peu d'expériences en la matière en France dans le domaine de l'aménagement en général ; les données NOAA et des données aéroportées aux résolutions des futurs systèmes à satellite (20 m) sont également utilisées.
- . les algorithmes existants, non supervisés et supervisés.
- . les moyens de visualisation et de restitution des données et des résultats de traitements.
- . les méthodes d'interprétation.
- . les délais, les coûts.

2.1.4. Indiquer les limites actuelles de la télédétection : en résolution, en logiciels, en interprétation selon les thèmes abordés et les régions étudiées.

2.1.5 En tirer des conclusions quant à la définition de système adapté aux problèmes à résoudre.

2.2. Conditions de définition des expérimentations

Les expérimentations en cours ou en préparation ont été définies selon trois critères principaux :

- d'après le bilan des connaissances actuelles en télédétection
- en fonction des systèmes existants en France actuellement
- en fonction des besoins exprimés, des capacités de mobilisation des utilisateurs et de la diversité géographique française.

2.2.1. D'après le bilan des connaissances actuelles

Un "état de l'art" provisoire a été établi en 1977 par l'OPIT sous forme de quatre volumes (cf. bibliographie actuellement en cours de diffusion auprès des utilisateurs. Il en résulte globalement que peu d'expérimentations utilisant le traitement numérique des données Landsat en rapport avec les besoins des ministères membres de l'OPIT ont été menées en France. Certains domaines sont très avancés (géologie, traitement et interprétation des images), d'autres sont abordés pour les besoins de la recherche scientifique mais les grands thèmes d'application ayant un rapport avec l'aménagement du territoire ont été étudiés principalement aux U.S.A. dans le cadre des activités de la NASA, de l'USGS et d'agences locales de "regional planning". Ils débouchent majoritairement sur une cartographie (au 1/250.000) de l'utilisation du sol selon la nomenclature d'Anderson.

Il a paru nécessaire d'expérimenter sur le territoire français l'apport des données Landsat.

2.2.2. En fonction des systèmes existants en France actuellement

Un "système" comprend un ordinateur avec ses périphériques habituels, des algorithmes spécifiques permettant d'analyser les données de télédétection et les données "terrain", des sorties sur consoles et/ou des sorties graphiques pouvant aboutir, par

exemple, à une cartographie automatique, ainsi que les techniciens qui mettent en œuvre cet ensemble.

Ce n'est qu'en 1977 que certains organismes ont pu disposer de l'ensemble de ces moyens, d'autres seront disponibles en 1978 et après. Aux U.S.A., de nombreuses stations de traitement précablées sont disponibles et on connaît leurs performances. En France, plusieurs types d'algorithmes sont implémentés, qu'ils proviennent des U.S.A. ou qu'ils aient été développés en propre. Il a paru nécessaire de démarrer un processus systématique d'évaluation de ce que chaque type de traitement pouvait apporter. C'est pourquoi le programme de l'OPIT s'est efforcé, dans un premier temps, de diversifier les procédures d'analyse des données de télédétection puis d'établir des comparaisons plus systématiques à des fins d'évaluation et d'optimisation.

De la même façon, il a paru nécessaire d'évaluer les différents modes de restitution, soit des données elles-mêmes, soit des résultats de traitements, lors des phases de travail et à des fins de publication de résultats.

Par ailleurs, l'OPIT dispose d'une panoplie de données de télédétection assez vaste acquises soit lors d'opérations aéroportées spécifiques telles que celles réalisées par le GDTA dans les Bouches du Rhône soit dans le cadre du réseau européen de distribution des données Landsat.

2.2.3. En fonction des besoins exprimés, des capacités de mobilisation des utilisateurs et de la diversité géographique française

Un certain nombre de besoins ont d'ores et déjà été recensés. Une étude plus systématique de ceux-ci est en cours, menée conjointement par l'OPIT et le CNES.

Ils se répartissent en six domaines : utilisation du sol et aménagement ; agriculture-production, forêts, ressources en eau, environnement et pollutions, aménagement et urbanisme. Les éléments de précision (en particulier précision statistique, géographique et de durée de vie de l'information) et de hiérarchisation seront fournis dans le premier semestre 1978. Parmi les grandes applications recensées, on peut citer : inventorier et cartographier (au moins une fois par an) les modes d'utilisation du sol selon une nomenclature la plus fine possible ; définir des aptitudes et des vocations régionales ; effectuer des zonages écologiques, dégager rapidement et à chaque saison les tendances de la production agricole, au niveau national et à des niveaux régionaux, au moins pour les grandes cultures (céréales) ; améliorer le système de prévision de récolte (accélération de la prévision), améliorer les systèmes d'alerte et de lutte contre les catastrophes (inondations, sécheresse, incendies, ...) ; suivre les phénomènes évoluant rapidement (pollutions, ...) ; faciliter les études d'impact ; suivre les phénomènes et les mécanismes d'urbanisation et d'industrialisation et les conflits dans l'utilisation du sol notamment aux franges des villes ; améliorer la connaissance et la gestion des ressources en eau (eaux libres, eaux liées, continentales et le long des côtes).

Il est plus particulièrement demandé à la télédé-

tection d'apporter une plus-value par rapport aux systèmes classiques de collecte de données fonctionnant en France :

- amélioration de la précision des statistiques de l'occupation du sol
- amélioration de la rapidité de livraison d'informations utiles
- amélioration de l'implantation des points traditionnels de mesure au sol

D'autre part, l'option fondamentale et originale de l'OPIT consiste à associer très étroitement les utilisateurs à la définition des expérimentations, à l'interprétation ainsi qu'à l'évaluation des résultats de traitements. Par utilisateurs, nous entendons, les personnels techniques et administratifs des administrations membres de l'OPIT, pris tant au niveau central qu'aux niveaux régionaux et départementaux. Ce sont par exemple les principaux agents des Directions départementales de l'Agriculture et de l'Équipement, des Centres techniques du Génie Rural des Eaux et Forêts et de l'Équipement, des Services régionaux de l'Aménagement Forestier, des Eaux et de l'Équipement, des services tels que l'Inventaire Forestier National et l'Office National des Forêts, ...

Par cette association étroite, on contribue d'une part à la formation de ces utilisateurs aux techniques d'interprétation des données de télédétection et d'autre part à améliorer l'adéquation entre les techniques de la télédétection et l'utilisation de celles-ci par un va-et-vient nécessaire entre ces deux pôles trop souvent dissociés.

C'est dans cet esprit que des équipes locales ont été mises sur pied lors des expérimentations OPIT. Ces équipes ont pour rôle concret de participer à la définition des objectifs thématiques, de fixer les zones géographiques à étudier, de rassembler les données terrain nécessaires à l'initialisation des traitements numériques ainsi qu'aux phases d'interprétation et d'évaluation, et de participer à ces phases. Ces données terrain sont soit issues des systèmes de collecte classique (comme par exemple l'enquête annuelle TERUTI du Ministère de l'Agriculture) soit acquises sur place pour les besoins des expérimentations.

La diversité des paysages français et des modes d'occupation et d'utilisation du sol est une variable importante à mettre en rapport avec les questions de résolution spatiale des systèmes de télédétection. Compte tenu de la nécessité de tester les capacités de Landsat sur le territoire national, plusieurs attitudes étaient possibles : soit on traitait tout d'abord les expérimentations sur des problèmes relativement simples et résolus ailleurs comme par exemple la mise en évidence des grandes catégories d'utilisation du sol dans des régions assez homogènes, soit on s'attaquait d'emblée à des problèmes plus complexes et non encore résolus comme la discrimination des cultures en régions de parcelle moyenne ou petite (de l'ordre de l'hectare ou de quelques hectares).

Il a été décidé, autant que les moyens et les équipes locales le permettaient, de choisir des secteurs géographiques aussi représentatifs que possible de la diversité des situations françaises afin de pouvoir généraliser valablement les résultats obtenus.

En définitive, les zones géographiques et les thèmes retenus pour 1977 ont été les suivants :

- 1°) en zone méditerranéenne, avec utilisation de données Daedalus à haute résolution et de données Landsat :
 - sur le département des Bouches du Rhône :
 - . étude du milieu camargais
 - . utilisation du sol en milieu urbain (Arles-Berre)
 - . cartographie pédologique
 - . utilisation du sol en milieu rural (Crau-Comtat)
 - sur l'ensemble de la zone méditerranéenne :
 - . recherche et statistique des feux de forêts
 - . recherche des zones humides, de la qualité des eaux et de l'utilisation du sol de la frange côtière du littoral Languedoc-Roussillon
- 2°) en région de moyenne montagne, avec des données Landsat :
 - utilisation du sol, équilibre forêts, cultures, prairies, eaux en Limousin
 - inventaire forestier en Vosges et Vivarais
- 3°) en zone de cultures diversifiées, avec des données Landsat :
 - utilisation du sol en Val de Loire : grandes cultures en petite Beauce et plateau de Touraine, forêts, polyculture dans les vallées.

3 - EXPOSE DES PRINCIPALES EXPERIMENTATIONS

3.1. Expérimentation LIMOUSIN

3.1.1. Les objectifs

- . recherche du meilleur algorithme de classification pour un traitement semi-supervisé sur l'ensemble du département de la Haute Vienne à l'intérieur des frontières administratives selon une nomenclature grossière à 4-6 postes :
 - eau
 - infrastructures - bâti - extraction à ciel ouvert
 - forêts (feuillus, résineux)
 - agriculture (prairies, terres labourables)
- . recherche de la nomenclature maximale compatible avec l'imagerie Landsat en fonction du meilleur algorithme.
- . approche de la stratification automatique de l'image Landsat.

3.1.2. Les contraintes

- . étude monotemporelle (30 avril 1976) - image de printemps préférée à celle de juillet 1976, période de sécheresse que subissaient les cultures et les forêts.
- . parcellaire du Limousin très petit, imbriqué et non orienté.
- . rester dans les limites administratives afin de pouvoir comparer les résultats à ceux des enquêtes conventionnelles.
- . définir une méthodologie généralisable à d'autres régions françaises de même nature.

3.1.3. Les travaux en cours

Si la recherche du meilleur algorithme de classification se fait sur l'ensemble du département, celle de la nomenclature maximale ne se fait que sur deux zones tests : le périmètre d'action forestière (PAF) situé au Nord de Limoges (6 500 ha) et le plan d'aménagement rural (PAR) du Sud-Est du département (45 000 ha). Ces deux zones tests ont été proposées par les utilisateurs locaux.

3.1.3.1. Recherche du meilleur algorithme

Deux phases préliminaires ont été nécessaires : mise au point d'un programme de frontières artificielles et définition d'échantillons d'observation.

Délimitation des frontières artificielles

Le programme mis au point est opérationnel. Dans l'exemple pris sur le PAF (6 500 ha), un seul amer de référence a permis le calage carte/image au pixel près et une mesure des surfaces à 0,5 % près par rapport au planimétrage sur carte. Ce programme sera appliqué pour présenter les résultats au niveau du département et des deux zones tests.

Echantillonnage départemental

Un échantillonnage de sites forestiers en eau et en milieu urbain-infrastructure a été réalisé à partir de la photointerprétation de l'image. Trois classifications ont été faites sur le PAF et une méthode non supervisée est utilisée parallèlement pour estimer le nombre de classes au sol discriminables dans les conditions de l'expérience (nuées dynamiques sous hypothèse gaussienne avec nombre de noyaux variables).

3.1.3.2. Recherche de la nomenclature maximale

A l'aide d'algorithmes supervisés gaussiens et des nuées dynamiques on recherche la nomenclature maximale en utilisant les variables qui influent sur la radiométrie (variables physiologiques, variables d'identification, variables explicatives). Une "vérité-terrain" spécifique a été nécessaire pour cette tâche : 130 sites ont été prospectés à posteriori sur le terrain selon la nomenclature d'un dictionnaire de variables préalablement arrêtée. Tous ces sites ont au moins 10 ha, ils représentent donc 20 pixels au minimum tant pour des problèmes de repérage que pour obtenir un certain nombre de pixels "purs" pour une catégorie de territoire donnée.

Ces parcelles ont été repérées sur photographies aériennes au 1/30.000 de l'IGN et reportées sur la mosaïque photographique. Le repérage des mêmes amers sur la mosaïque et sur Landsat permet de déformer la mosaïque à l'échelle et à la géographie des données Landsat et de repérer directement les coordonnées ligne-colonne des coins des parcelles.

Zone automatique

Les résultats de classification effectués par les programmes de nuées dynamiques sont ensuite lissés par un algorithme de régularisation dont on peut faire varier le seuil (selon que l'on compare 1 pixel aux 8 ou aux 24 points le jouxtant).

3.1.3.3. Classification supervisée sur le système 101 de l'IGN

42 classes ont pu être initialisées sur les deux secteurs-tests PAF et PAR. A partir de la distance interclasse choisie (maximum des différences des valeurs radiométriques moyennes des centres de classes) on a retenu vingt classes portant sur l'urbain (Limoges), les forêts (composition hêtre-chêne-châtaignier, Pin de Douglas et épicéa), les prairies (plusieurs classes), les landes et l'eau.

3.1.3.4. Evaluation qualitative et quantitative des résultats

Cette évaluation sera réalisée localement, au niveau du département de la Haute Vienne sous la responsabilité de la direction départementale de l'agriculture. Elle s'appuiera sur :

- les matrices de confusion établies à partir des parcelles témoins
- les statistiques annuelles d'utilisation du territoire
- les documents cartographiques établis lors des définitions du PAF et du PAR.

3.2. Expérimentation VAL DE LOIRE

3.2.1. Les objectifs

- Objectifs thématiques : statistiques et cartographie de l'occupation de l'espace selon la nomenclature la plus fine possible. Evaluation de la sécheresse par comparaison d'images de juillet 75 et juillet 76.
- Objectifs méthodologiques : tirer le meilleur parti des compositions colorées à diverses échelles ; tester certains algorithmes disponibles ; mettre sur pied une méthode d'évaluation des résultats grâce au logiciel de l'OPIT et aux observations des utilisateurs ; faire participer les utilisateurs locaux à une expérimentation de télédétection.

3.2.2. Les conditions de l'expérimentation - Les données utilisées

Il a été mis sur pied une équipe d'utilisateurs locaux sous la coordination des services départementaux de la statistique agricole (Indre et Loire, Loir et Cher). Les phases d'interprétation et d'évaluation sont en cours selon des méthodes en voie de développement par l'OPIT. La phase d'évaluation consiste à procéder à des vérifications, pixel à pixel, parcelles à parcelles, régions à régions et à des comparaisons des résultats obtenus par les diverses classifications utilisées et l'interprétation des images. Les documents analysés sont des tirages noir et blanc des 4 canaux Landsat de la scène 215-27 aux dates du 27/7/75 et du 30/7/76 et les compositions colorées équivalentes aux échelles du 1/500.000 (totalité de l'image), du 1/250.000 (sur l'Indre et Loire), du 1/125.000 sur trois zones tests : Petite Beauce, en Loir et Cher, zone de Chinon - Bourgueuil et zone de Loches - Ste Maure de Touraine en Indre et Loire, ainsi que des résultats de classifications effectués sur ces trois zones tests en utilisant deux traitements non supervisés : l'analyse

en composantes principales et les nuées dynamiques sous hypothèse gaussienne et un traitement supervisé, le programme CALSCAN de Berkeley, sous hypothèse gaussienne.

3.2.3. Principaux résultats obtenus

Sur le plan méthodologique, il a été procédé à une correction radiométrique relative en calant l'image 1976 sur celle de 1975 prise comme référence de façon à obtenir des compositions colorées comparables pour l'interprétation.

Dans les domaines thématiques, les résultats suivants peuvent être cités :

- sur la petite Beauce : le parcellaire sort bien dans toutes les classifications. Le traitement non supervisé isole trois classes de forêts et plusieurs classes d'utilisation du sol (prairie, diverses céréales). Le traitement supervisé permet la discrimination de 12 classes : 3 classes de forêts (résineux, jeunes feuillus, feuillus), 5 classes de céréales, des céréales moissonnées, le maïs, les prairies, les villes.
- sur la zone Chinon-Bourgueuil : cette zone complexe a fait l'objet de deux classifications en composantes principales, trois essais de nuées dynamiques et un traitement supervisé. Les comparaisons sont en cours. Dans tous les cas, les grands postes de la nomenclature TERUTI du Ministère de l'Agriculture sortent bien et l'on parvient à des niveaux de détail intéressants avec le traitement supervisé. Sont mises en évidence plusieurs classes de forêts, de prairies (liées à des conditions de sol et de bocage), de polyculture, le maïs, les zones urbanisées, la vigne et les vergers. Les conditions du substratum géologique ainsi que les sols introduisent un éclatement en plusieurs classes de thèmes tels que vignes et vergers.
Il faut en général un minimum de 4 ha pour approcher une parcelle de culture pure, le seuil de fiabilité statistique est en cours d'étude. Tous les feux de forêts supérieurs à 5 ha ont été reconnus sur l'image 76.
- sur la zone Loches : le traitement non supervisé a sorti cinq classes de forêts qui cadrent bien avec le plan d'aménagement de l'ONF sur la forêt de Loches. Pour les cultures, le traitement supervisé donne de meilleurs résultats, avec le seuil cité précédemment.

3.2.4. Conclusions provisoires

Dans tous les cas, on a bien isolé les grands postes de la nomenclature usuelle de l'utilisation du sol : forêt, avec résineux et feuillus de divers âges, villes, eaux libres, terres labourables (céréales récoltées, céréales sur pied, maïs, polyculture, cultures permanentes ligneuses), superficies en herbe. L'apport spécifique de chaque classification est en cours d'étude ainsi que certains thèmes particuliers (humidité des sols, rôle du substratum). La classification supervisée apporte plus de détails pour l'étude des cultures. Un état de celles-ci peut être fait avec précision à partir d'images prises à des dates à sélectionner (printemps, début d'été, fin d'été) et de vérités-terrain acquises en même temps.

Par ailleurs, une recherche est en cours sur le contenu des divers types de paysages ruraux mis en évidence par Landsat, sur l'ensemble de l'image et

sur les zones à petit parcellaire.

3.3. Recherche des feux de forêts en région méditerranéenne

3.3.1. Conditions de l'expérimentation

Cette recherche sur la définition d'une méthode mettant rapidement et automatiquement en évidence les feux de forêts survenus au cours d'une période d'une année (statistique et localisation) se déroule en trois phases :

- tests de méthode à partir des clichés IRC au 1/45.000 sur le département des Bouches du Rhône d'une image Landsat de septembre 1976 et des données issues du système classique de statistique des feux (Prométhée) ;
- traitement de l'image Landsat sur système conversationnel (système 101) selon une méthode supervisée sur les Bouches du Rhône ;
- extension géographique du traitement vers le Languedoc-Roussillon à des fins de vérification et de généralisation.

3.3.2. Principaux résultats

- les feux de l'année sont identifiables sans difficulté sur les clichés IRC, les feux plus anciens ne sauraient être reconnus avec certitude ni datés avec précision.
- septembre semble la meilleure date d'observation à retenir. Les feux de lignieux hauts de plus de 5 ha sont reconnus avec fiabilité par traitement des données Landsat.
- l'identification des feux de lignieux bas est plus difficile (confusion avec carrières ou zones artificialisées). Le seuil de reconnaissance est 10 ha.
- certaines confusions ont été levées par régularisation des résultats de traitement (cas de certains éléments linéaires comme des gorges ayant été confondus avec des feux).
- seules les zones réellement détruites sont reconnues, quantifiées et localisées. Les zones parcourues par les feux ressortent difficilement.
- l'extension géographique de l'étude a permis de donner les conclusions suivantes : une généralisation du traitement n'est possible que pour des images situées sur la même trace et sur le même substratum géologique. Si l'on change de trace ou de substratum, il faut refaire l'initialisation du traitement. Une régionalisation de secteur méditerranéen fondée sur la géologie permettra de définir les zones nécessitant une initialisation propre.

3.4. Expérimentation LANGUEDOC

3.4.1. Objectifs et conditions de réalisation

L'objectif principal est l'analyse des zones humides : détection, délimitation, qualité, caractéristiques de la végétation liée en procédant à une catégorisation des surfaces en eau et de l'occupation de l'espace orientée sur l'aspect biophysique par analyse des données Landsat.

Une photointerprétation préliminaire des images de la scène 212-30 de janvier 73 et de juillet 75 a été faite sur les canaux 5 et 7 ; un traitement

supervisé gaussien sur logiciel Bendix a été réalisé sur toute l'image du 6 juillet 1975. Des données terrain ont été recueillies auprès des utilisateurs locaux à qui va être confiée une évaluation des résultats obtenus. Ceux-ci appartiennent aux services centraux, régionaux et locaux des Ministères de l'Environnement et de l'Agriculture, à des laboratoires de recherches de la région et à des compagnies d'aménagement. Les données "végétation" sont nombreuses tandis que les données sur l'eau sont peu utilisables (trop ponctuelles, époque d'enregistrement trop éloignée de la date de prise de l'image Landsat, ...). De nombreux utilisateurs estiment, à l'inverse, que les résultats obtenus pourront servir à stratifier l'implantation de réseaux de mesures.

3.4.2. Principaux résultats

La classification supervisée a fourni une cinquantaine de classes de niveaux différents selon les cas. Les résultats ont été visualisés sous forme d'une carte en couleur au 1/250.000 après correction géométrique (précision garantie à 3 pixels près) comprenant 24 classes et accompagnée de tableaux statistiques donnant les résultats dans les limites terrestres et départementales de la zone, dans les limites d'un bassin versant (Hérault) et dans celles d'un secteur quadrangulaire autour de l'étang de Leucate. Certains secteurs font l'objet d'agrandissement pour les utilisateurs. Une composition colorée avec amélioration des contrastes et des contours sur l'ensemble de la zone a également été obtenue au 1/250.000. Les classes suivantes ont été cartographiées :

- vigne et verger
- forêt (feuillus)
- forêt (résineux)
- forêt (mixte)
- garrigue
- sables et graviers
- terrain nu
- sel humide
- zones humides (2 classes)
- marais salants
- territoire urbanisé (5 classes)
- eau douce (claire, trouble, normale)
- eau salée (turbide, peu turbide, claire)
- eau saumâtre

De nombreuses sous-classes ont été également mises en évidence (notamment dans les terres labourables, les garrigues, les forêts) mais n'ont pas été retenues pour la cartographie définitive (pour des raisons de perception visuelle et étant considérées comme hors thème).

Ces résultats sont en cours de vérification sur le terrain par les utilisateurs.

En première estimation, on peut dire que les résultats obtenus sur l'eau et la végétation aux abords paraissent satisfaisants ; les cultures irriguées ressortent également sur un traitement spécifique sur les canaux 5 et 7. La classification de type biophysique de l'occupation des sols semble bonne, des détails sont bien isolés mais des confusions normales subsistent (jeunes plantations boisées et garrigues). Il y aurait lieu de s'interroger sur les meilleures époques de prises de données pour mettre en évidence tout ce qui est lié à l'eau et à l'humidité.

3.5. Autres expérimentations et projets

Les diverses expérimentations lancées en 1977 connaissent des états d'avancements variés et nous n'avons retenu pour cet exposé que quatre projets portant sur le thème général inter-organisme de l'occupation et de l'utilisation du sol et sur des thèmes plus spécifiques comme la forêt et les zones humides. Les résultats partiels et définitifs seront publiés au fur et à mesure de l'achèvement des travaux dans une collection spéciale de l'OPIT.

Le second programme d'expérimentation de l'OPIT doit démarrer en 1978. Il portera essentiellement sur les points suivants :

- définition d'actions et mise sur pied d'équipes sur le thème des ressources en eau après concertation avec les principaux utilisateurs dans ce domaine (cf. communication d'Y. Vuillaume et Cl. Valério : Télédétection et ressources en eau : état des applications).
- thème "aménagement et urbanisme" : le programme de recherche sur Arles et les rives de l'étang de Berre a démarré début 78 ; il sera suivi par un programme en Région Ile de France ayant pour but principal de mettre sur pied un dispositif automatique de suivi des modes d'utilisation du sol et par d'autres travaux en région normande relatifs aux modifications prévisibles de l'utilisation du sol dans le cadre d'aménagements autoroutiers.
- thème "mise sur pied de banques de données physiographiques" par télédétection et comparaison de données de télédétection à des bases de données existantes (Alsace et Lorraine).
- thème agricole : recherche d'une méthode rapide de mise en évidence des tendances de la production, en particulier céréalière, en régions de grandes cultures.
- thème "forêt" : poursuite des recherches sur la discrimination des espèces et leur cartographie.
- thème "humidité des sols", dans le cadre de l'approfondissement de l'expérimentation "Val de Loire, évaluation de la sécheresse de 1976".
- thème "moyenne montagne" : zonage écologique - Définition d'aptitudes (Cévennes).
- thème "littoral" : contribution à une amélioration de la connaissance du littoral (conflits dans l'utilisation du sol).

4 - CONCLUSIONS

Deux types de conclusions sont à dégager :

- des conclusions d'ordre méthodologique
- des conclusions relatives à l'apport de la télédétection

4.1. Conclusions méthodologiques

L'exécution des expérimentations OPIT appelle plusieurs types de commentaires :

- il n'existe pas encore de système complet performant pour une application donnée : l'effort

doit être porté à la fois sur les algorithmes, sur les matériels et sur les divers modes de restitution des données et des résultats.

- un certain nombre de goulots d'étranglement sont encore à lever. De nombreuses étapes de travail restent "manuelles" et nécessitent un investissement de temps important ; citons par exemple les calages géographiques, le repérage des parcelles-test, les tirages photo, la comparaison de documents à diverses échelles, etc... Souvent les phases sont mal enchaînées pour des raisons soit matérielles ou informatiques soit géographiques, les éléments d'un système étant parfois dispersés ; l'édition des documents de travail ou définitifs se fait au coup par coup en fonction des types de sorties disponibles et souhaitables et rarement réunis en un lieu (console couleur, table traçante, listing, restituteur d'image, imprimante électrostatique, ...) ; enfin la représentation cartographique des résultats de télédétection doit s'améliorer en conciliant localisation et statistiques.
- les méthodes d'interprétation et d'évaluation des résultats sont en retard par rapport aux phases situées plus en amont. L'OPIT a tenté de remédier à cet état de fait en créant un logiciel de comparaison le plus automatique possible de divers résultats obtenus sur une même zone par diverses méthodes. Ce logiciel fonctionne depuis le 15 février 1978 ; il utilise des vérités terrain afin de tester la fiabilité des résultats obtenus par traitements numériques. De nouveaux algorithmes sont essayés.

4.2. L'apport de la télédétection

Celui-ci doit être envisagé par rapport aux besoins exprimés par les utilisateurs et aux systèmes classiques de collecte. Les directions adoptées par l'OPIT tentent de répondre aux questions suivantes :

- apporter une plus-value en livrant des informations fiables, homogènes, exhaustives et globales, dans le temps et dans l'espace. Ces informations devront être mieux coordonnées, pour les aménageurs, que celles apportées par les systèmes actuels qui fonctionnent sur des bases différentes les unes des autres (maillages différents, globalisation à divers niveaux, prises d'informations à des époques différentes, nomenclatures rarement compatibles, ...).
- améliorer le délai de restitution des informations utiles.
- améliorer les réseaux de mesures traditionnels par une meilleure implantation géographique.
- obtenir des informations qui puissent, à la demande, s'affranchir des référentiels administratifs classiques.
- obtenir des informations nouvelles par rapport à ce que l'on connaît déjà. En particulier, un effort reste à faire pour améliorer notre connaissance sur le fonctionnement des systèmes (qu'il s'agisse des mécanismes biologiques ou des structures socio-économiques abordées par le biais d'indicateurs paysagers). Cette voie demande à être étudiée par les agronomes et géographes selon des modalités en cours de définition.

L'étape actuelle de réalisation du programme 77 ne permet pas encore de répondre positivement à toutes ces questions, on peut cependant estimer que la télédétection sera capable de satisfaire ces besoins dans un délai de quelques années à condition d'optimiser tous les éléments d'un système.

5 - BIBLIOGRAPHIE

"Etat de l'art en télédétection" - Paris, OPIT, 1977, 4 volumes :

1ère partie - chapitre 1 : La saisie des données, les principes physiques et la problématique de leur interprétation.

Coordination : F. Becker
173 p., multigr.

1ère partie - chapitre 2 : Les traitements en télédétection

par G. de Montricher, J. Duvernoy et B. Gaignerot
121 p., multigr.

2ème partie - chapitre 1 : Télédétection et aménagement

Coordination : M. Bied-Charreton
214 p., multigr.

2ème partie - chapitre 2 : Ressources en eau et télédétection

par Cl. Valério et Y. Vuillaume
156 p., multigr.